

STUDI TEKNIS KELAYAKAN DESAIN AREA *BURIED PIPE* MENEMBUS REL KERETA API PADA PIPA JARINGAN GAS

Septian Firdaus Yoga Pratama.^{1*}, Raden Dimas Endro Witjonarko.², Abdul Ghafur³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: septianfirdaus229@gmail.com^{1*}; dimasendro@gmail.com^{2*}; abdul.gafur10@mhs.ne.its.ac.id^{3*}

Abstract – In the pipeline routing process, design which will be constructed requires pipeline under railway. The Pipeline under railway will later be constructed without using casing with a distance of -2000 mm from the land surface. In the design drawings there are 2 (two) pipes that need to be bending of 30° referring to the ASME B31.8 requirement. The pipeline are expected to last up to 20 years accordance the client's request. Based on the calculation of the conducted analysis, the pipeline under railway which will be constructed has an effective stress value of 7809.25 Psi. The result of the effective stress calculation is considered safe because it doesn't exceed the material allowable stress, for the required pipe thickness is 0.025 inch and the pipe thickness after bending process is 0.261 inch. According to the thickness calculation result the pipes are considerably safe because the thickness value after bending process is not less than the required pipe thickness, and for the calculation lifetime of the pipe, the lifetime of the pipes is up to 22 years. based on that calculation result, it is safe to state that the pipes are good because it longer lifetime than client's request which is 20 years.

Keyword: Bending, Lifetime, Pipeline, Stress Analysis.

Nomenclature

D : Diameter luar pipa
E : Faktor sambungan *longitudinal*
Ee : Faktor penggalan untuk beban tanah
Es : Modulus *young* baja
F : Desain faktor
Fi : Faktor tumbukan

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan program diversifikasi BBM (Bahan Bakar Minyak) ke BBG (Bahan Bakar Gas) oleh pemerintah, maka dibutuhkan suatu infrastruktur berupa SPBG (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas) dan jaringan pipa khususnya di daerah Jakarta selatan Jaringan pipa gas atau *pipeline*, nantinya akan melewati berbagai macam kondisi lingkungan dan bangunan yang telah ada (*existing*) Pada proses penentuan *routing pipeline*, desain yang akan dikonstruksi mengharuskan adanya *pipeline crossing* pada rel kereta. Pada kondisi tersebut *pipeline* dipasang di bawah tanah dengan kedalaman 2000 mm dari *top of pipe* ke permukaan tanah tanpa menggunakan *casing*. API RP 1102 menyatakan bahwa *pipeline crossing* pada *Railroad* dapat dikonstruksi tanpa menggunakan *casing* dengan syarat elevasi dari permukaan pipa terhadap permukaan tanah perlintasan rel kereta api minimal -1800 mm. Menurut desain yang telah dibuat berdasarkan hasil topografi lingkungan, pada proses instalasi ada 2 buah pipa yang perlu

dilakukan pembengkokan pada saat sebelum dan sesudah *pipeline crossing* menggunakan metode *field cold bending*. Menurut ASME B31.8 sebuah pipa dapat dilakukan proses pembengkokan jika ketebalan setelah dilakukan *bending* tidak boleh kurang dari ketebalan yang disyaratkan menurut ASME B31.8. Untuk mengantisipasi kejadian pipa retak, rusak atau bocor, maka pada Tugas Akhir ini dilakukan studi teknis kelayakan *pipeline crossing* rel kereta api dengan menganalisa tegangan yang terjadi pada pipa dan menjamin bahwa desain pipa yang digunakan sudah sesuai dengan kriteria standart yang digunakan dan aman untuk dilakukan instalasi serta mampu bertahan hingga *lifetime* yang ditentukan.

2. METODOLOGI

2.1 Prosedur Penelitian

Dari data desain basis proyek yang didapat sehingga diperlukan adanya analisa pada desain *pipeline crossing* yang meliputi analisa tegangan *pipeline crossing* mengacu pada API 1102 dengan melakukan perhitungan manual sesuai standart dan disertai perhitungan dari software dan membandingkan hasil analisa dari tegangan *pipeline crossing* dengan kriteria penerimaan pada standar API RP 1102 kemudian melakukan perhitungan manual dari pipa yang dibengkokkan sebesar 30° dengan perhitungan *min. wall thickness* pada pipa

sebelum dan sesudah dilakukan pembengkokan dan membandingkan hasil perhitungan *wall thickness* pada pipa yang dibengkokkan kemudian melakukan pemodelan pipa secara keseluruhan dengan membandingkan antara desain ideal yang didapatkan dari *pipeline rule of thumb handbook* dan desain eksisting dan terakhir Melakukan perhitungan perkiraan umur pipa *crossing*.

2.2 FORMULA MATEMATIKA

2.2.1 Pipeline Crossing

a) Tegangan akibat beban internal

Perhitungan tegangan yang terjadi akibat beban internal menggunakan persamaan berikut:

$$S_{Hi} = \frac{p(D-t_w)}{2.t_w} \quad (1)$$

Dimana:

p = Tekanan internal, diambil tekanan desain (psi atau kPa)
D = Diameter luar pipa (in. atau mm)
tw = Ketebalan dinding pipa (in. atau mm)

b) Tegangan akibat beban tanah

Sesuai dengan API RP 1102, perhitungan tegangan yang terjadi akibat beban hidup menggunakan persamaan berikut:

$$S_{He} = K_{He} \cdot B_e \cdot E_e \cdot \gamma \cdot D \quad (2)$$

Dimana:

K_{He} = Faktor kekakuan untuk tegangan *circumferential* dari beban tanah
B_e = Faktor penguburan untuk beban tanah
E_e = Faktor *excavation* untuk beban tanah
γ = Berat tanah. (lb/in.³ atau kN/m³)
D = Diameter luar pipa. (in. or m)

c) Tegangan Akibat Beban Hidup

Terdapat dua jenis tegangan yang terjadi pada material pipa akibat beban hidup yaitu:

Tegangan Circumferential:

$$\Delta S_{Hr} = K_{Hr} \cdot G_{Hr} \cdot N_H \cdot F_i \cdot w \quad (3)$$

Dimana:

K_{Hr} = Faktor kekakuan untuk tegangan siklis *circumferential*.
G_{Hr} = Faktor geometri untuk tegangan siklis *circumferential*.
N_H = Faktor *double track railroad* untuk tegangan siklis *circumferential*.
F_i = Faktor tumbukan.
w = Desain tekanan permukaan (psi atau kPa).

Tegangan Longitudinal:

$$\Delta S_{Lr} = K_{Lr} \cdot G_{Lr} \cdot N_L \cdot F_i \cdot w \quad (4)$$

Dimana:

K_{Lh} = Faktor kekakuan untuk tegangan siklis *longitudinal*.
G_{Lh} = Faktor geometri untuk tegangan siklis *longitudinal*.

N_L = Faktor *double track railroad* untuk tegangan siklis *longitudinal*.

F_i = Faktor tumbukan.

w = Desain tekanan permukaan (psi atau kPa).

d) Tegangan efektif

Sesuai dengan API RP 1102, perhitungan tegangan efektif menggunakan persamaan berikut :

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \quad (5)$$

Dimana:

S₁ = Tegangan *circumferential* maksimum (psi atau kPa)

S₂ = Tegangan *longitudinal* maksimum (psi atau kPa)

S₃ = Tegangan radial maksimum (psi atau kPa)

2.2.1 Bending

a) Wall Thickness Calculation

$$t = \frac{P_d \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot F \cdot E \cdot T} \quad (6)$$

Dimana :

P_d = Design Pressure (Pa)

S = Specified Minimum Yield Strength (Pa)

D_o = Diameter luar pipa (inch)

t = Wall thickness (inch)

F = Design factor

E = Longitudinal joint factor

T = Temperature de-rating factor

b) Perhitungan sudut bending maksimum

$$B = \frac{H}{2\pi \times R \times D} \times 360^\circ \quad (7)$$

Dimana :

B = Bend angle for each point

R = Radius of cold bend

D = Nominal outside diameter of pipe (inch)

H = Point of bend

Menentukan *sum point of bend* (G) bisa ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$G = \frac{(L-2T_g)}{H} \quad (8)$$

Dimana :

G = Sum point of Bend (point)

L = Length of pipe (m)

T_g = Tangent length each pipe end (m)

Maximum bending angle per 12 m :

$$CB_{max} = B \times G \quad (9)$$

Dimana :

Cbmax = Maksimum Bending angle

B = Bending angle per joint

c) Perhitungan % wall thinning

$$\% = \frac{50}{(R \times D - 0,5 \times D) + 1} \quad (10)$$

Dimana :

R = Radius of cold bend

D = Nominal outside diameter of pipe (inch)

2.2.3 Perhitungan Umur Pipa

Dalam tahap ini adalah perhitungan perkiraan umur *pipeline crossing* pada jaringan pipa gas. Menurut desain basis sesuai dengan permintaan klien, pipa harus dapat bertahan hingga 20 tahun. Proses perhitungan menggunakan pedoman dari API 570 dan menggunakan data ketebalan *pipeline* yang sudah beroperasi selama 1 tahun.

$$1. \text{CorrRate} = \frac{t_{\text{nom}} - t_{\text{min}}}{\Delta \text{time}} \quad (11)$$

Dimana : t_{nom} : Ketebalan pipa saat instalasi (mm)
 t_{min} : Ketebalan pipa minimum (mm)
 Δtime : Interval waktu instalasi dan pengukuran (years)

$$2. t_{\text{req}} = \frac{P \cdot OD}{2 \cdot S \cdot E \cdot T \cdot F} + CA \quad (12)$$

Dimana :
 P : Design pressure (psi)
 OD : Diameter luar (in)
 S : SMYS (psi)
 E : Weld Joint Factor
 T : Temperature Derating Factor
 F : Design Factor
 CA : Corrosion Allowance (in)
 t_{req} : Ketebalan pipa yang dibutuhkan (in)

$$3. \text{Remaining Life} = \frac{t_{\text{min}} - t_{\text{req}}}{\text{CorrRate}} \quad (13)$$

Dimana :
 t_{min} : Ketebalan pipa minimum (mm)
 t_{req} : Ketebalan yang dibutuhkan (mm)
 CorrRate : Laju Korosi (mm/year)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Penelitian

Tabel 1. Pipe Characteristic

Description	Unit	Value
Outside Diameter	inch	8.625
Thickness	inch	0.322
Material	-	API 5L
Steel Grade	-	B
Design Factor	-	0.5
Longitudinal Joint Factor	-	1
Type of Longitudinal Weld	-	ERW
Description	Unit	Value
Specified Minimum Yield Strength	Psi	35000
Specified Minimum Tensile Strength	Psi	60000
Steel Density	kg/m3	7850
Young Modulus	Mpa	207000
Thermal Expansion Coefficient	1/°C	1.12x10-5
Poisson Ratio		

Tabel 2. Installation & Site Characteristic

Description	Unit	Value
Depth	m	2
Soil Type	-	Loose Land
Bored Diameter	Inch	10.75
Unit Weight	kg/m3	1920.99
Modulus of Soil Reaction (E')	kN/m2	3447.37
Resilien Modulus (Er)	kN/m2	68947.57
Poisson Ratio	-	0.25
Soil Railroad Loading	-	E-80

Tabel 3. Process Data

Description	Unit	Value
Operating Pressure	psig	125
Design Pressure Maks.	psig	200
Operating Pressure Hydrotest	psig	150
Design Pressure Maks.	psig	280
Operating Temperature	°F(°C)	85.17 (29.54)
Design Temperature Maks.	°F(°C)	200(93.3)
Operating Temperature Maks.	°F(°C)	100 (37.8)
Fluid Density	lb/ft3	0.485

3.2. Pipeline Crossing

a) Tegangan akibat beban internal

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000
Shi	Psi	2678.571
Min. Yield Strength Factor	Psi	17500.000
Keterangan	-	Accept

b) Tegangan akibat beban tanah

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000.000
Tw/D	-	0.037
H/Bd	-	7.325
Bd/D	-	1.246
Khe	-	900.000
Be	-	1.230
Ee	-	1.280
She	-	843.268

c) Tegangan akibat beban hidup

Tegangan siklus *Circumferential*

Description	Unit	Value
Kedalaman	Mm	2000
Khr	-	190
Ghr	-	1.054
Nh	-	1.09
Fi	-	1.69
w	-	13.9
ΔSHr	-	5127.6925

Tegangan siklus *Longitudinal*

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000
Klr	-	250
Glr	-	1
Nl	-	1.02
Fi	-	1.69
W	-	13.9
ΔSLr	-	5990.205

d) Nilai *Principal Stress & Effective Stress*

S1

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000
She	-	843.268
SHr	-	5127.695
Shi	-	2578.571
S1	-	8549.535

S2

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000
SLr	-	5990.205
E	Psi	30002280
A	-	6.95E-06
T1	F	85.17
T2	F	80.6
V	-	0.3
She	-	843.268
Shi	-	2578.571
S2	-	6063.84

S3

Description	Unit	Value
Kedalaman	Mm	2000
P	Psi	200
S3	-	-200

Effective Stress

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000
(S1-S2) ²	-	6178682.6
S2-S3) ²	-	39235685
(S3-S1) ²	-	76554364.4
Seff	Psi	7809.249

e) Pemeriksaan batasan tegangan mengacu pada kriteria penerimaan API 1102

Description	Unit	Value
Kedalaman	mm	2000
F	-	250
SMYS	-	1
Seff	Psi	1.02
Allowable Stress	-	1.69
Keterangan	-	13.9

Dari hasil perhitungan tegangan diatas nilai tegangan efektif yang diterima pipa memiliki nilai *effective stress* yang jauh dibawah nilai *allowable stress* yang disyaratkan oleh API1102 sehingga tegangan yang diterima pipa dapat diterima dan dinyatakan aman untuk dilakukan instalasi.

3.3 Bending

1. Wall Thickness

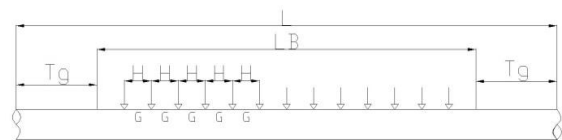
$$t = \frac{Pd \cdot Do}{2 \cdot S \cdot F \cdot E \cdot T} \quad (14)$$

$$= \frac{200 \text{ (psi)} \cdot 8.625 \text{ (inch)}}{2 \cdot 35000 \text{ (psi)} \cdot 1 \cdot 1} = 0.025 \text{ inch}$$

Dari hasil perhitungan diatas nilai minimum ketebalan pipa yang dibutuhkan adalah 0.025 inch. Selanjutnya adalah pemilihan nilai ketebalan pipa sesuai dengan standart API 574 Tabel 1, sehingga kita dapat menggunakan pipa NPS 8" dengan SCH 40 dengan nilai ketebalan 0.322".

2. Perhitungan maksimum sudut *bending* & persentase wall thinning.

Diketahui panjang pipa L = 12 meter, dan besar *Tangent Line* = 2 meter.



Gambar 1. Detail pipa bending

Tabel 4. perhitungan *thinning percentage*

Description	Unit	Value
Radius	-	30
Tg	M	2
Lb	M	8
H	Inch	10
B	Deg	2.21
G	Point	31
Cb max	Deg	68.6
Thinning Percentage	%	19

Dari tabel diatas didapatkan nilai penipisan dinding pipa sebesar 0.33%. sehingga jika dilakukan perhitungan ketebalan pipa setelah *dibending* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Thin Nominal} &= 19\% \times 0.322 \text{ inch} \\ &= 0.061 \text{ inch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Thickness pipe after bend} &= 0.322 - 0.061 \\ &= 0.261 \text{ inch} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, pipa akan mengalami penurunan ketebalan sebesar 0,061 inch. Sehingga ketebalan pipa setelah dilakukan *cold bend* dengan radius 30D, adalah 0,261 inch. Ketebalan tersebut masih memenuhi minimum *thickness* karena persyaratan minimum ketebalan adalah 0.025 inch, sehingga ketebalan pipa *bending* dinyatakan aman.

3.4 Pemodelan pipa secara keseluruhan menggunakan software.

Pemodelan *pipeline crossing* secara keseluruhan yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan software ANSYS 18.2, pemodelan tersebut dilakukan untuk mendapatkan besaran nilai tegangan yang terjadi pada pipa secara keseluruhan dengan membandingkan desain *pipeline* secara ideal yang didapatkan dari *pipeline rule of thumb handbook* dan desain eksisting. Desain yang dipilih pada *hanbook*. Perhitungan dan sketsa gambar

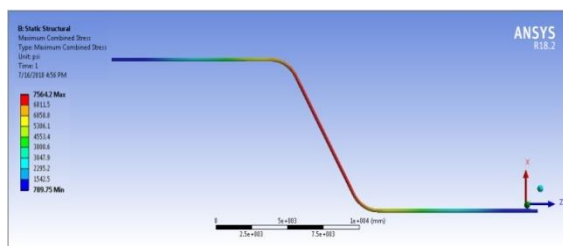
tentang spesifikasi desain yang akan dibuat sesuai dengan formula yang ada, kemudian akan dilakukan pemodelan dengan menggunakan software untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada desain *pipeline crossing* secara ideal dan eksisting. Berikut ini hasil perhitungan spesifikasi desain secara ideal dan pemodelan yang dilakukan dengan software dengan dua pemodelan yaitu tanpa beban dan ketika diberi beban.

Tabel 5. perhitungan spesifikasi desain pipa secara ideal

From Field	Calculation	Unit
C = 6000	R = 18D = 4000	mm
G = 30	H = 0.5 x 30 = 15	degree
D = 35000	F = 12000	mm
	E = 10392	mm
	A = 12304	mm
	B = 12304	mm
	K = tan 15 x 4000 = 1071	mm
	M = 12304 - 1071 = 11233	mm
	N = 12304 - 1071 = 11233	mm
	P = 12000 - (2 x 1.071) = 9856	mm

Dari perhitungan spesifikasi desain diatas kemudian dilakukan pemodelan *pipeline* kita lihat bahwa nilai tegangan pada pipa tertinggi adalah sebesar 2152 psi. Pada pemodelan tersebut desain *pipeline crossing* belum diberi pembebanan *live load* dan memiliki nilai dibawah nilai tegangan yang di ijinakan yaitu 31500 psi.

Selanjutnya desain ideal yang telah dilakukan pemodelan diatas akan diberikan beban *live load* untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi pada pipa secara keseluruhan, beban *live load* didapatkan dari beban yang disarankan oleh API 1102.



Gambar 2. Pemodelan *pipeline crossing* secara ideal dengan beban

Kita lihat bahwa nilai tegangan pada pipa tertinggi adalah sebesar 7564.2 Psi dan memiliki nilai dibawah nilai tegangan yang di ijinakan yaitu 31500 psi.

Selanjutnya adalah pemodelan pada desain *existing*. Hasil perhitungan dari spesifikasi desain *existing* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan spesifikasi desain *existing*

From Field	Calculation	Unit
C = 6000	H = 0.5 x 30 = 15	degree
G = 30	A = 12304	mm
D = 35000	B = 12304	mm

6572.25	K = tan 15 x 6572.25 = 1761	Mm
F = 12000	M = 12304 - 1761 = 10542	Mm
E = 10392	N = 12304 - 1761 = 10542	Mm
	P = 12000 - (2 x 1761) =	
C = 6000	8477	Mm

Pada perhitungan diatas telah didapatkan besaran nilai dari spesifikasi desain yang digunakan untuk desain *existing*. Tahap selanjutnya adalah pemodelan desain *existing* untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi dengan menggunakan software ANSYS.load untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi pada pipa secara keseluruhan, beban *live load* didapatkan dari beban yang disarankan oleh API 1102, hasil dari pemodelan desain *existing* yang diberi beban *live load*.

Nilai tegangan pada pipa tertinggi adalah sebesar 10021 Psi dan memiliki nilai dibawah nilai tegangan yang di ijinakan yaitu 31500 psi dari keseluruhan pemodelan yang telah dilakukan nilai tegangan yang didapatkan keseluruhan memiliki nilai yang masih dibawah tegangan ijin yang disyaratkan oleh ASME B31.8, sehingga pipa dapat dinyatakan aman dan dapat dilakukan proses instalasi.

3.5 Perhitungan Perkiraan Umur Pipa

Dari data diatas dapat diketahui bahwa nilai ketebalan pipa yang terbesar (t_{max}) sebesar 8.168 mm dan nilai ketebalan pipa terkecil (t_{min}) sebesar 8.021 mm. Dari nilai ketebalan terkecil yang sudah diketahui selanjutnya dilakukan proses perhitungan perkiraan umur pipa dengan menggunakan formula pada API 570 yang dapat jabarkan dibawah ini :

$$1. \quad CorrRate : \frac{t_{nom} - t_{min}}{\Delta time} \quad (15)$$

$$2. \quad t_{req} : \frac{P \cdot OD}{2 \cdot S \cdot E \cdot T \cdot F} + CA \quad (16)$$

$$3. \quad Remaining \ Life : \frac{t_{min} - t_{req}}{CorrRate} \quad (17)$$

Dari perhitungan perkiraan umur pipa diatas yang dilakukan dengan mengacu pada formula API 570 didapatkan perkiraan umur pipa sebesar 22 tahun hal itu berarti *pipeline crossing* yang akan dibangun dapat bertahan hingga umur desain yang diharapkan sehingga pipa dapat dikatakan memenuhi syarat permintaan klien karena memiliki umur diatas 20 tahun.

4.KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang dilakukan diatas didapatkan nilai tegangan efektif (*combined stress*) sebesar 7809.25 Psi. Hasil dari perhitungan tegangan efektif tersebut dinyatakan aman dikarenakan tidak melebihi *allowable stress* material sesuai persyaratan API 1102. Kemudian untuk perhitungan ketebalan pipa yang dibanding ketebalan pipa hanya berkurang 19% dan ketebalan pipa setelah *dibending* sebesar 0.26 inch sedangkan kebutuhan ketebalan

pipa sebesar 0.025 inch sehingga pipa dinyatakan aman karena ketebalan setelah *dibending* tidak kurang dari ketebalan yang dibutuhkan. Kemudian setelah dilakukan pemodelan nilai tegangan yang terjadi baik tanpa beban dan dengan beban keseluruhan memiliki nilai dibawah nilai tegangan ijin sehingga pipa dinyatakan aman. Kemudian untuk perhitungan perkiraan umur pipa didapatkan umur pipa sebesar 22 tahun hal itu berarti *pipeline* memiliki *lifetime* yang baik karena memiliki umur yang lebih panjang dari permintaan klien yaitu 20 tahun.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan lancar dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua yang telah memberikan begitu banyak nasehat hidup, kasih sayang, doa, dukungan moril serta materil, dan segalanya bagi penulis.
3. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc, M.R
INA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak, R. Dimas Endro W. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
5. Bapak Abdul Gafur, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir. Seluruh staf pengajar Program Studi Teknik Perpipaan yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan.
6. Semua teman-teman *piping engineering* 2014, khususnya TP 2014 B.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

6. PUSTAKA

- [1] *API RP 1102 Steel Pipeline Crossing Railroads and Highways.* (2007). Washington, D.C: API Publisher.
- [2] *API 570 Pipeline Inspection Code In - Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping System.* (2016). Washington DC: API Publisher.
- [3] *ASME B31.8 Gas Transmission and Distributon Piping System.* (2016). New York: ASME Publisher.
- [4] *ALA. (2001). Guideline for the Design of Buried Steel Pipe.* USA: ASCE.

- [5] Chamsudi, A. (2005). *Diktat - Piping Stress Analysis.* Jakarta: Rekayasa Industri.
- [6] Koswara, A. D. (2014). *Analisa Stress Pada Pipeline Crossing Rel Kereta Api Milik PT. PGN Wilayah Distribusi Ngagel.* PPNS: Program Studi Teknik Perpipaan.
- [7] McAllister, E. (2002). *Pipelines Rules Of Thumb Handbook.* United States of America: Gulf Professional Publisher.
- [8] Nuryono Adi, W, Adi Wirawan H. dan Daisy Dwijati., 2016. *DESAIN Pipeline Crossing Highways Pada Jaringan pipa Penyalur Gas.* In: PPNS (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya), **1st Conference On Piping Engineering and Its Application (CPEAA) 2016.** Surabaya, Indonesia 23 September 2016. Indonesia: Surabaya.